

ABORDAGEM GLOBAL DO ESTUDO DO PROCESSO ABRASIVO - PARTE II :
DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE ABRASÔMETRO A DOIS E TRÊS
CORPOS (1).

SINÉSIO DOMINGUES FRANCO (2)
PETRÔNIO ZUMPARO JÚNIOR (3)
JOSÉ DANIEL BIASOLI DE MELLO (4)

RESUMO

Apresenta-se as principais características de um abrasômetro múltiplo, que permite a realização simultânea de ensaios a dois e três corpos. Alguns resultados preliminares ilustram a potencialidade do protótipo desenvolvido.

-
- (1) Contribuição técnica a ser apresentada no 1º Seminário Sobre Materiais Resistentes ao Desgaste-São Paulo, Setembro de 1989.
 - (2) Membro da ABM, Engº Mecânico, Professor do Laboratório de Engenharia de Materiais (LEM), Departamento de Ciências Físicas (DECIF), Universidade Federal de Uberlândia (UFU), MG.
 - (3) Engº Mecânico, LEM-DECIF, UFU, Uberlândia, MG.
 - (4) Membro da ABM, Engº Mecânico, M. Sc., Dr. Metalurgia, Prof. do LEM-DECIF, UFU, Uberlândia, MG.

1 - INTRODUÇÃO

Conforme foi evidenciado na primeira parte deste artigo⁽¹⁾, não existe um dispositivo universal para o estudo do processo abrasivo. Assim, o Laboratório de Engenharia de Materiais (LEM) do Departamento de Ciências Físicas (DECIF) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) tem procurado desenvolver, projetar e construir um certo número de equipamentos que assegurem a reprodução em laboratório de uma vasta gama de configurações mecânicas⁽²⁻⁴⁾.

Em particular, dentre os principais tipos de abrasômetros relatados na literatura⁽¹⁾, dois apresentam grande interesse, devido à sua grande difusão: o abrasômetro do tipo roda de borracha e o do tipo pino-sobre-disco. O primeiro tipo de abrasômetro, responsável pela maioria dos dados disponíveis na literatura⁽⁵⁾, sendo inclusive normalizado⁽⁶⁾, já foi objeto de desenvolvimento por parte do LEM e está descrito em detalhes na Parte III do presente artigo⁽²⁾.

Este trabalho, por sua vez, aborda o desenvolvimento, projeto e construção de um abrasômetro do tipo pino-sobre-disco. Visando otimizar a relação custo benefício, projetou-se um dispositivo possuindo dois discos giratórios. Isto possibilitou que, com um único sistema de acionamento (moto-redutor de corrente contínua), se obtivesse duas configurações mecânicas, ou seja, dois abrasômetros distintos. O primeiro, do tipo pino-sobre-disco (configuração a dois corpos) e o segundo, reproduzindo uma configuração a três corpos ($D \approx d$), via úmida⁽⁷⁾.

Adicionalmente, esta alternativa permite a realização simultânea e em condições tribológicas equivalentes, de ensaios a dois e três corpos, com conseqüente redução da interferência destes fatores nos resultados⁽⁸⁾.

A figura 1 esquematiza o abrasômetro múltiplo idealizado, onde se destaca, além do abrasômetro propriamente dito e seu módulo de comando, um sistema de alimentação em circuito fechado do fluxo abrasivo, o condicionador de extensometria e um micro-computador compatível com IBM PC/XT. Estes dois últimos acessórios garantem a monitoração, registro e tratamento estatístico do atrito aparente. O atrito aparente é definido como a relação entre os esforços tangenciais e normais na configuração a dois corpos.

Os próximos parágrafos detalham o projeto, construção e avalia-

ção do protótipo produzido. Suas principais características, classificadas pela configuração mecânica reproduzida, são listadas na tabela I.

Tabela I - Principais características do protótipo produzido.

CARACTERÍSTICAS	CONFIGURAÇÃO MECÂNICA	
	Dois Corpos	Três Corpos
Velocidade de rotação do prato (rpm)	9 - 90	9 - 90
Carga (N)	até 50	até 50
Velocidade de rotação da amostra (rpm)	0,16-38	-
Comprimento de desgaste (m)	até 3,3	-
Amostra	Cilíndrica (5 x 20mm)	Qualquer (0 max. 10mm) (várias)
Abrasivo	Lixas	Pós

Ressalta-se ainda que o protótipo dispõe de um dispositivo de interrupção instantânea do teste, com inversão automática do sentido de rotação dos pratos. Para o caso da configuração a dois corpos, existe a possibilidade de ensaios via úmida ou seca, bem como da monitoração, registro e tratamento estatístico da força tangencial totalmente informatizado.

2 - PROJETO E CONSTRUÇÃO

A figura 2 mostra o protótipo produzido.

Observa-se que o mesmo constitui-se do abrasômetro propriamente dito, de um módulo de comando e controle, assim como de uma unidade assegurando o fluxo forçado do complexo abrasivo. Completam o sistema um condicionador de sinais e um sistema computacional IBM PC/XT. As diversas etapas do projeto deste equipamento foram executadas de acordo com procedimentos clássicos de projeto mecânico, sendo os detalhes relevantes descritos nos parágrafos seguintes.

Um único motor de corrente contínua assegura o acionamento de todas as partes móveis do conjunto. O motor aciona diretamente um dos pratos. Através de polias dentadas e correia sincronizadora,

assegura-se o movimento do segundo prato. Uma derivação, através de engrenagens cônicas, assegura o movimento de translação do dispositivo porta-amostra da configuração à 2 corpos, figura 3a.

Este dispositivo é montado sobre um bloco deslizante à base de rolamentos lineares, assegurando a perfeita linearidade e isenção de vibrações do movimento, figura 3b.

Visando compensar o desalinhamento produzido pelo desgaste da amostra, o dispositivo porta-amostra é sustentado por um mecanismo a quatro barras, equilibrado por um contra-peso. A sujeição da amostra se dá por um mandril de engate rápido, que gira à velocidade constante. Este movimento tem o objetivo de eliminar o caráter direcional do teste, aumentando assim sua reprodutibilidade⁽⁹⁾, sendo obtido por meio de um motor de corrente contínua, figura 4a.

Este conjunto gira livremente em relação a seu eixo suporte e apoia-se em uma célula de carga, o que possibilita a medida de esforço tangencial atuante no ensaio. A figura 4b mostra esta montagem. O sinal gerado é condicionado e em seguida digitalizado, através de uma interface A/D, na memória de um micro-computador IBM PC/XT, com taxa de amostragem de 140 pontos por segundo.

Uma rotina computacional especialmente desenvolvida (ABRASOM), assegura esta digitalização, bem como o tratamento estatístico e a apresentação gráfica dos resultados, conforme mostra a figura 5.

A figura 6, por sua vez, apresenta um resultado típico relativo à liga Alumínio- 16% Silício. Os demais parâmetros tribológicos estão indicados na figura 6, produzida pela opção traçador gráfico da rotina ABRASOM.

O protótipo conta ainda com um sistema regulável da distância percorrida pela amostra, assegurando a interrupção instantânea do teste. Pela ação de micro "relais" limitadores de curso, assegura-se a inversão automática do sentido de rotação.

O passo do fuso, garantindo o movimento de translação do conjunto, foi calculado de forma assegurar a não repetibilidade do desgaste, ou seja, a amostra sempre encontra abrasivo novo no seu percurso. Desta forma, a trajetória da amostra descreve uma espiral de Arquimedes no papel abrasivo.

Nestas condições, o comprimento de amostragem (L) se escreve:

$$L = \int_{\theta_0}^{\theta_r} R. d\theta = a \frac{\theta_r^2}{2} - \frac{\theta_0^2}{2}$$

onde,

θ_r = ângulo onde termina o trajeto da espiral;

θ_0 = ângulo onde inicia o trajeto da espiral e

a = distância entre uma linha da espiral e a próxima linha adjacente.

O sistema conta ainda com um tacômetro, especialmente cons-
truído para medir-se a velocidade de rotação dos pratos.

Este tacômetro, cujo sensor é do tipo ótico, sem contato, dispõe ainda de saída analógica, permitindo assim o registro da velocidade e, oportunamente, o controle da mesma através de micro-computador.

Na configuração três corpos, a amostra é colocada em um alvéolo, com sua forma sendo pressionada por pesos mortos contra um disco em ferro fundido. Este conjunto é colocado no interior de um cilindro que gira livremente em função das interações com o disco, figura 7.

Nesta configuração, o abrasivo é livre e o seu fluxo é assegurado, em circuito fechado, por uma bomba centrífuga acionada por um motor de máquina de costura. Visando assegurar a homogeneidade da mistura fluido-abrasivo, um agitador foi associado à bomba. Destaca-se ainda o sistema controlador da vazão do fluido abrasivo. O princípio de funcionamento deste dispositivo, bem como outros detalhes construtivos, são descritos em publicação recente⁽¹⁰⁾.

Finalmente, no módulo de comando estão agrupados os diversos controles do equipamento como: vazão da bomba, indicador de velocidade do prato e seu controle, inversão do sentido de rotação, controle da rotação da amostra, etc.. A figura 8 mostra o painel do módulo.

3 - RESULTADOS PRELIMINARES - AVALIAÇÃO DO EQUIPAMENTO.

A figura 9 mostra a função de transferência obtida para o cálculo dos valores dos esforços atuantes na configuração dois corpos. Observa-se a grande linearidade do instrumento.

Visando avaliar o abrasômetro, foram ensaiados cinco ferros fundidos brancos ao Cromo e Molibdênio, cujas principais características metalúrgicas são apresentadas em trabalho recente⁽¹¹⁾.

Os teores de Carbono variam de 0,92 a 3,38. O teor de Cromo está compreendido entre 11,35 a 32,10% e o teor de Molibdênio é da ordem de 3%. O Silício e o Manganês aparecem como elementos minoritários.

A estrutura destas ligas constituem-se essencialmente de austenita e carbonetos duros de tipos $(FeCr)_7 C_3$.

A porcentagem volumétrica dos carbonetos (P.V.C.), cuja determinação encontra-se detalhada no trabalho já citado⁽¹¹⁾, varia de 4,54 a 39,03%.

As amostras foram ensaiadas no estado bruto de fusão e foram obtidas por moldagem em areia na forma de cilindros de diâmetro 4,9mm.

Os ensaios foram realizados nas duas configurações, sendo as condições impostas mantidas as mais próximas possíveis:

- . tempo de ensaio = 170 segundos;
- . pressão média = 5.093 Kg_f/cm^2 ;
- . velocidade do prato = 25 rpm;
- . velocidade de rotação da amostra (2 corpos) = 20 rpm e
- . abrasivo = SiC.

As perdas em massa foram determinadas pelo método gravimétrico interrompido, utilizando-se balança analítica marca TECHMA-ROBOT, modelo WA 33, de precisão 10^{-4} gramas.

Para o ensaio a três corpos, foi utilizada uma mistura de água (90%) e carboneto de silício (SiC) em pó, de granulometria 400⁽¹⁰⁾.

Na configuração dois corpos, foi utilizado o mesmo tipo de abrasivo, porém na forma de lixa do tipo lixa d'água. A distribuição granulométrica destes dois meios abrasivos são aproximadamente equivalentes. A metodologia empregada na determinação destas distribuições, assim como a caracterização de diversos abrasivos disponíveis no mercado nacional, são analisados em outra publicação⁽¹⁰⁾.

A tabela II mostra os resultados obtidos para a perda em massa dos ferros fundidos brancos já citados. São listados todos os ensaios, para que se possa ter uma idéia da dispersão e reprodutibilidade dos resultados.

A figura 10 mostra estes resultados, para a configuração a dois corpos.

Observa-se que a taxa de desgaste decresce com o aumento da porcentagem de carbonetos até o valor de cerca de 30%. A partir deste valor, a taxa de desgaste fica praticamente constante. Para a configuração a três corpos, no entanto, a partir deste valor a taxa de desgaste volta a crescer, indicando a existência de uma composição ótima, como indica a figura 11. Observa-se ainda que a taxa de desgaste e a dispersão são menores na configuração a três corpos.

Estes resultados, assim como a dispersão e reprodutibilidade do equipamento, estão de acordo com dados publicados previamente (7 e 12).

Os resultados relativos à relação de forças ou atrito aparente são indicados na figura 12. Estes resultados, relativos a ligas Alumínio-Silício, com o teor de Silício variando até 21%, representam a média de cinco ensaios sob carga de 10N.

As amostras foram ensaiadas no estado bruto de fusão e foram usinadas para o diâmetro de 5mm na região central dos lingotes. Os lingotes eram cilindros com diâmetro de 10 mm e produzidos em molde de areia. Observa-se que a relação de forças é constante até cerca de 12% Si e que, a partir desta composição, que corresponde ao eutético, decresce ligeiramente com o teor de Silício. No caso do Silício puro, este valor é de 0,57.

4 - CONCLUSÃO.

Os resultados apresentados mostram que o protótipo desenvolvido é bastante versátil. Devido às características adotadas, o mesmo permite a realização simultânea e em condições tribológicas equivalentes, de ensaios a dois e três corpos. Este fator, além de tornar o equipamento econômico, propicia uma operação facilitada, rápida e de baixo custo.

Além disto, os resultados mostram que a reprodutibilidade do mesmo é equivalente aos encontrados na literatura e que o mesmo possui um razoável poder de "distinção" entre ligas.

Em conclusão, pode-se afirmar que o protótipo atingiu os requisitos técnicos necessários e que o mesmo constitui-se em uma valiosa ferramenta para o estudo do desgaste abrasivo.

5 - AGRADECIMENTOS.

Os autores agradecem ao CNPq e a FINEP o apoio financeiro

recebido.

6 - BIBLIOGRAFIA.

- (1) - DE MELLO, J.D.B.: "Abordagem Global do Estudo do Processo Abrasivo - Parte I : Consideração Sobre os Métodos Abrasométricos". Submetido ao 1º Seminário Sobre Materiais Resistentes ao Desgaste, ABM/EPUSP, São Paulo, Setembro de 1989.
- (2) - ZUM PANO Jr., P.; CORNACHIONI, D.D. e DE MELLO, J.D.B.. "Abordagem Global do Estudo do Processo Abrasivo - Parte III : Projeto, Construção e Avaliação de Abrasômetro do Tipo Roda-de-Borracha". Submetido ao 1º Seminário Sobre Materiais Resistentes ao Desgaste, ABM/EPUSP, São Paulo, Setembro de 1989.
- (3) - NOGUEIRA, R.E.F.Q. e DE MELLO, J.D.B. Anais do 43º Congresso Anual da ABM. Belo Horizonte, Outubro de 1988, p.281-300.
- (4) - FRANCO, S.D. e DE MELLO, J.D.B.. "Desenvolvimento e Avaliação de Esclerômetro Pendular". Submetido ao 1º Seminário Sobre Materiais Resistentes ao Desgaste, ABM/EPUSP, Setembro de 1989.
- (5) - BORIK, F.. Metals Engineering Quaterly. 1972, p.33-39.
- (6) - ASTM.G 65 "Standard Practice for Conditioning Dry Sand Rubber Wheel Abrasion Tests"
- (7) - DE MELLO, J.D.B.. Tese Dr. Engenheiro. ENSEEG-INPG, Grenoble, França, 1983.
- (8) - ZUM GAHR, K.H.. Metals Progress. Setembro de 1979, p. 46.
- (9) - MUSCARA, J. e SINTT, M.J.. Metals Engineering Quaterly. Maio de 1972, p. 21-32.
- (10) - DE MELLO, J.D.B.. Relatório Final do Projeto CNPq/PADCT, p.70.01.22/85, LEM/UFU, 1988, 75p..
- (11) - REZENDE, I.M. e DE MELLO, J.D.B.. Anais do 7º CBECIMAT. Florianópolis, Dezembro de 1986, p.139-143.
- (12) - SHETTY, H.R. et al.. Wear. Nº 80, 1982, p.347-376.

ABSTRACT

This paper presents the main features of a multiple device allowing the simultaneous of two and three body tests. Some preliminary results are added to show potentialities of the equipment.

Tabela II - Taxa de desgaste de ferros fundidos ao Cr-Mo.

Ensaio \ Amostra		6	7	8	9	10
1	2 corpos	687,7	687,6	658,9	517,7	573,0
	3 corpos	625,5	582,4	388,3	334,3	539,9
2	2 corpos	802,1	429,7	488,0	630,3	458,4
	3 corpos	550,0	560,8	550,0	506,9	539,3
3	2 corpos	573,0	515,7	573,0	343,8	744,8
	3 corpos	615,5	560,8	474,5	588,5	506,9
4	2 corpos	687,6	458,4	630,3	630,3	343,8
	3 corpos	517,7	560,8	496,1	431,4	444,2
5	2 corpos	458,4	458,4	458,4	515,7	630,3
	3 corpos	668,7	463,2	471,7	431,4	582,4
6	2 corpos	773,5	687,6	515,7	-	630,3
	3 corpos	571,6	528,5	377,5	313,6	409,8
Média	2 corpos	633,7	593,6	554,5	527,5	563,4
	3 corpos	593,2	542,8	476,4	426,0	503,4
Desvio Padrão	2 corpos	128,6	118,0	80,2	426,0	503,4
	3 corpos	56,3	42,4	80,5	84,9	65,4

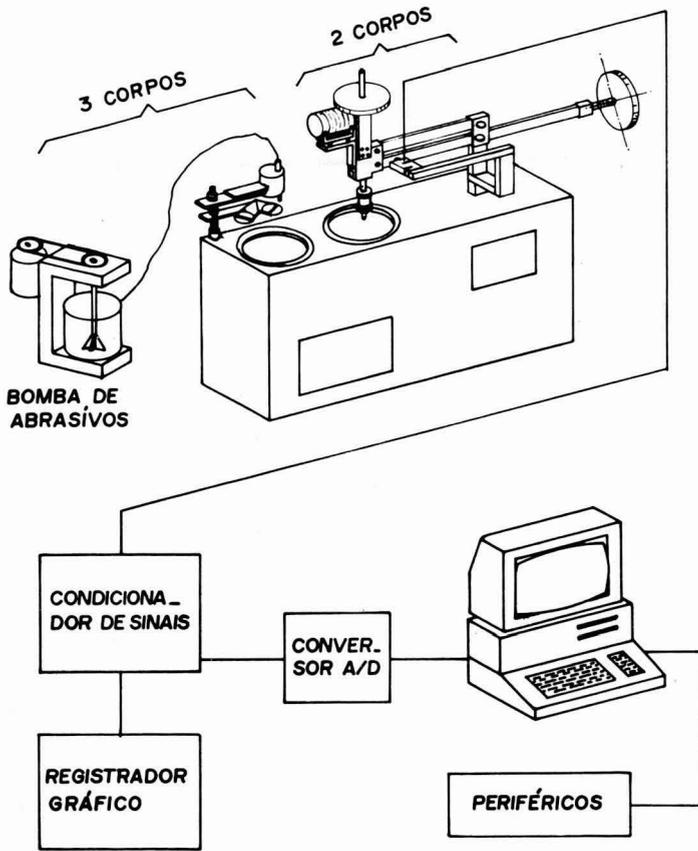


Figura 1 - Esquema do Abrasômetro LEM 01.

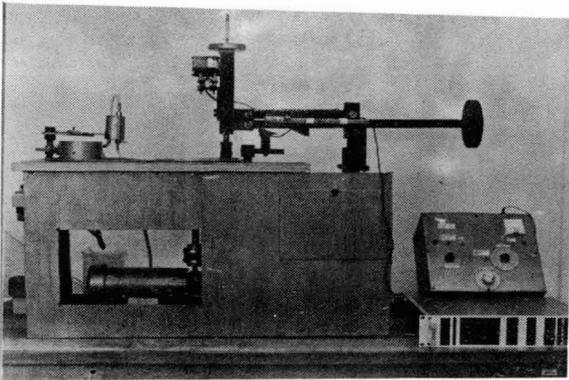
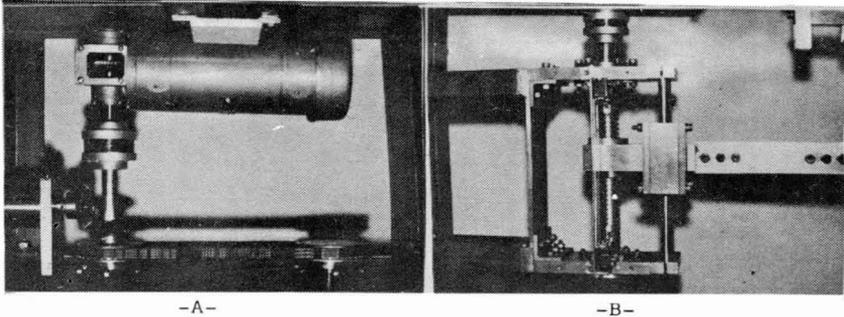


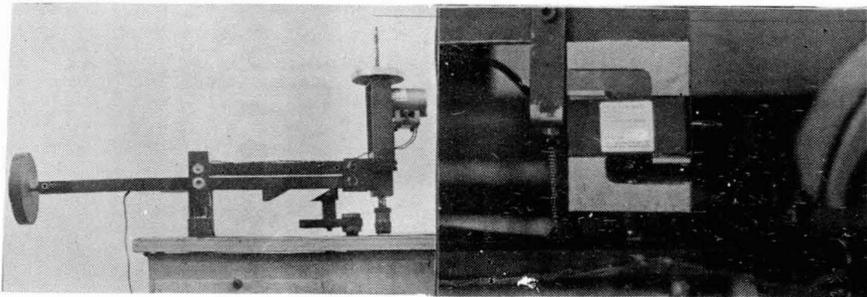
Figura 2 - Vista Geral do Protótipo Construído.



-A-

-B-

Figura 3 - Detalhes do sistema de acionamento - A - Acionamento dos discos,
- B - translação do dispositivo porta-amostra (2 corpos).



-A-

-B-

Figura 4 - Configuração 2 corpos - A - Dispositivo porta amostra - B -
Detalhe da célula de carga.

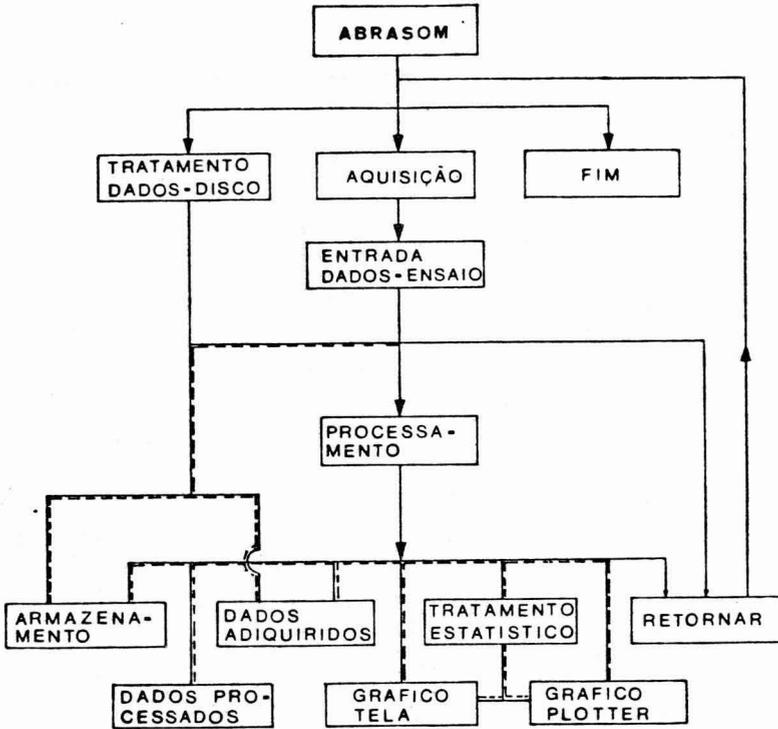


Figura 5 - Diagrama Explicativo da Rotina ABRASOM.

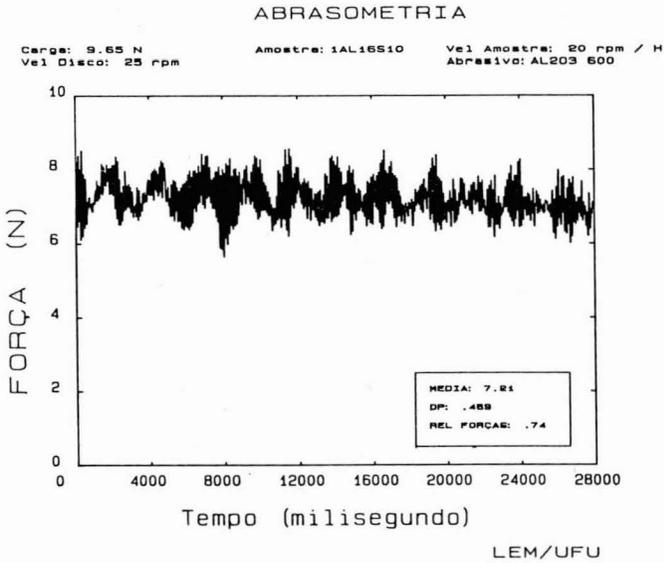


Figura 6 - Resultado Típico

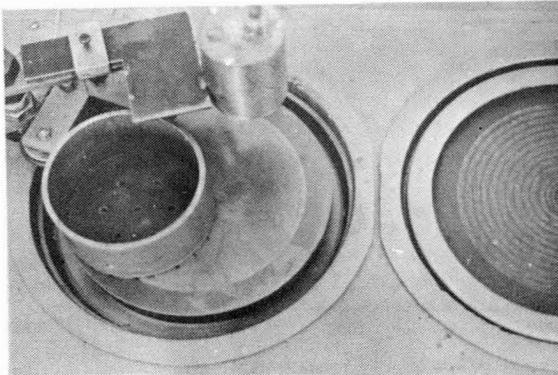


Figura 7 - Detalhe da configuração 3 corpos. Nota-se o caráter não repetitivo da trajetória da amostra na configuração 2 corpos.

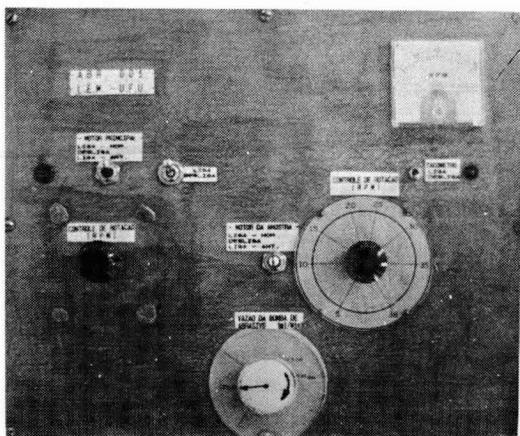


Figura 8 - Módulo de Controle.

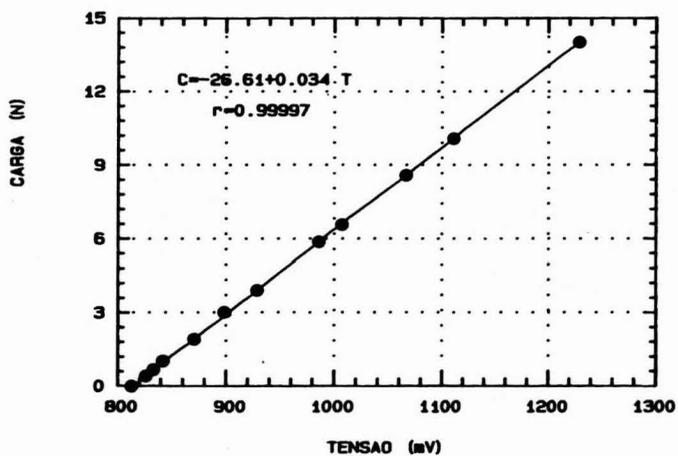


Figura 9 - Calibração do Esforço Tangencial.

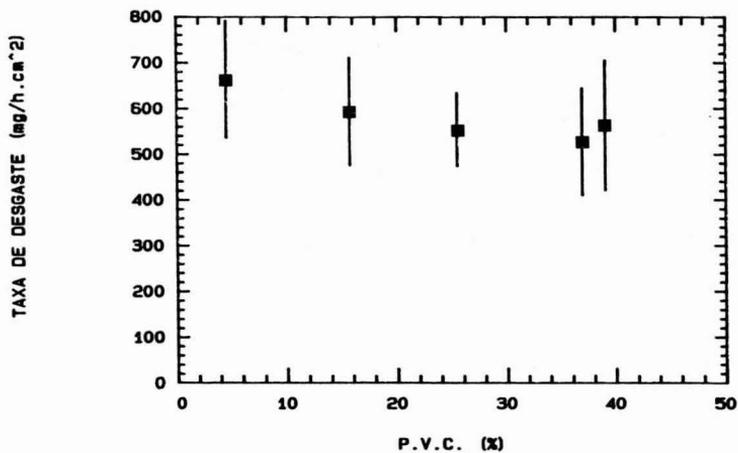


Figura 10 - Efeito da porcentagem volumétrica de Carboneto na taxa de desgaste 2 corpos.

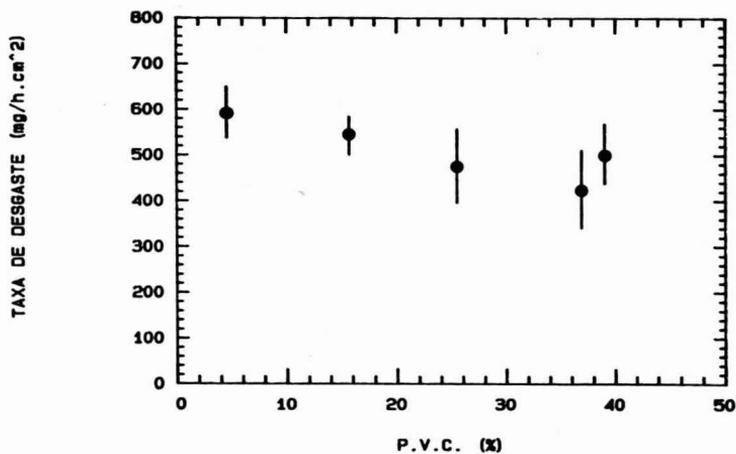


Figura 11 - Taxa de desgaste em função da porcentagem volumétrica de Carbonetos. 3 corpos.

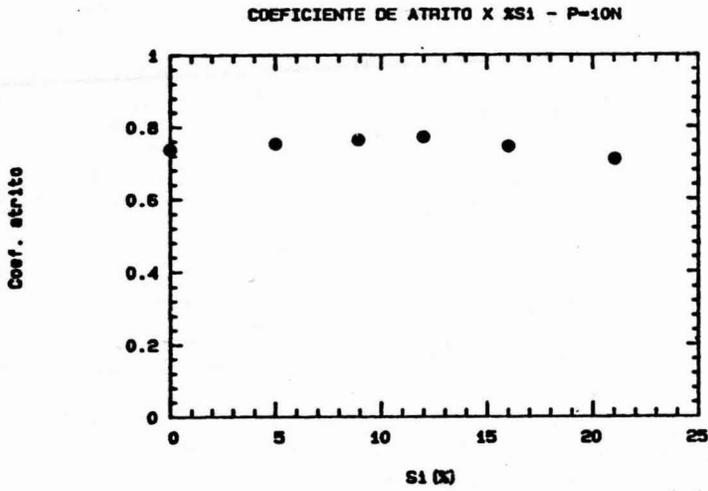


Figura 12 - Efeito da porcentagem de silício no atrito aparente.